

20. Rubtsova Yu. V. Postroenie korpusa tekstov dlia nastroyki tonovogo klassifikatora [Constructing a corpus for sentiment classification training]. *Programnye produkty i sistemy* [Program products and

systems]. 2015, no. 1 (109), pp. 72–78. DOI: 10.15827/0236-235X.109.072-078.

Received 25.09.2019

Відомості про авторів /Сведения об авторах/ About the Authors

Борисова Наталія Володимирівна (Borysova Natalia Volodymyrivna) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8834-2536>; e-mail: borysova.n.v@gmail.com

Мельник Каріна Володимирівна (Melnyk Karina Volodymyrivna) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9642-5414>; e-mail: karina.v.melnyk@gmail.com

Борисова Наталья Владимировна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры интеллектуальных компьютерных систем; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8834-2536>; e-mail: borysova.n.v@gmail.com

Мельник Карина Владимировна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9642-5414>; e-mail: karina.v.melnyk@gmail.com

Borysova Natalia Volodymyrivna – Candidate of Engineering Sciences, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor, Department of Computer Science and Intellectual Property; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8834-2536>; e-mail: borysova.n.v@gmail.com

Melnyk Karina Volodymyrivna – Candidate of Engineering Sciences, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor, Department of Software Engineering and Management Information Technology; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9642-5414>; e-mail: karina.v.melnyk@gmail.com

УДК 004.272.26: 004.272.34: 519.876.5

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.14

С. В. ШЕВЧЕНКО, В. О. ГУЖВА, В. Д. МАЛИШ, І. Ю. МОРКВА

ОБҐРУНТУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ВИБОРУ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Метою роботи є формування підходу до попереднього обґрунтування вибору типу архітектури системи обробки даних і управління. Архітектура системи являє собою способи побудови та організації її функціонування в процесі виконання програм обробки даних і управління. Якість архітектури може бути розглянуто з позицій прийнятих критеріїв ефективності таких як, наприклад, продуктивність, обсяги ресурсів, вартість обробки та інші. Вихідними даними для прийняття рішень по вибору кращої архітектури є характеристики даних задач, алгоритми обробки, характеристики прийнятих типів архітектури обчислювальних пристроїв, умови і вимоги до організації обчислювальних процесів і процесів управління, процедури обробки, їх характеристики і параметри, особливості програмного середовища, інструментальних засобів розробки і модифікації програмних рішень. Наявність невизначеності, викликані майбутніми аспектами функціонування системи обробки даних і умовами її використання, а також зовнішніми і внутрішніми факторами, що постійно змінюються, призводить до необхідності використання підходів формування архітектури системи обробки даних з позицій зменшення ризику прийняття необґрунтованих рішень. Тому виникають потреби в обробці даних у складі робочого навантаження, яке змінюється у часі, що проявляється як у сукупності задач обробки та їх вихідних даних, так і в необхідних процедурах обробки. Ці умови формують середовище обробки даних, для якого може бути поставлена у відповідність система обробки з адекватною архітектурою. Ступінь адекватності архітектури такої системи може бути оцінена з позицій обраних критеріїв і рівнів їх узгодження. Варіанти архітектури системи, що відповідають узгодженим рішенням, складають підмножину, яка надає обґрунтовані варіанти вибору рішень, що можуть прийматися з оцінками ефективності. З огляду на зростаючий інтерес замовників до побудови обчислювальних систем на основі хмарних технологій, обґрунтування та вибір архітектури системи обробки даних з використанням послуг хмарних обчислень набуває особливої актуальності. Підготовка подібних систем до застосування може займати кілька хвилин. Тому для поліпшення якості обґрунтування попереднього вибору архітектури системи обробки даних пропонується використовувати процедури апарату нечіткої логіки. Для ілюстрації підходу пропонується приклад чисельних розрахунків та аналіз отриманих результатів.

Ключові слова: архітектура, комп'ютерна система, обробка даних, критерії, нечітка логіка, алгоритм.

© С.В. Шевченко, В. О. Гужва, В. Д. Малиш, І. Ю. Морква, 2019

С. В. ШЕВЧЕНКО, В. А. ГУЖВА, В. Д. МАЛИШ, І. Ю. МОРКВА

ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ВЫБОРА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Целью работы является формирование подхода к предварительному обоснованию выбора типа архитектуры системы обработки данных и управления. Архитектура системы представляет собой способы построения и организации ее функционирования в процессе выполнения программ обработки данных и управления. Качество архитектуры может быть рассмотрено с позиций принятых критериев эффективности, таких как, например, производительность, объемы ресурсов, стоимость обработки и другие. Исходными данными для принятия решений по выбору предпочтительной архитектуры являются характеристики данных обрабатываемых задач, алгоритмы обработки, характеристики приемлемых типов архитектуры вычислительных устройств, условия и требования к организации вычислительных процессов и процессов управления, процедуры обработки, их характеристики и параметры, особенности используемой программной среды, инструментальных средств разработки и модификации программных решений. Наличие неопределенностей, вызванных будущими аспектами функционирования системы обработки данных и условиями ее использования, а также динамически изменяющимися внешними и внутренними факторами, приводит к необходимости использования подходов формирования искомой архитектуры с позиций уменьшения риска принятия необоснованных решений. Поэтому возникающие потребности в обработке данных в составе динамически формируемой рабочей нагрузки, которая проявляется как в составе обрабатываемых задач и их исходных данных, так и в требуемых процедурах обработки, формируют динамически изменяющуюся среду обработки, для которой может быть поставлена в соответствие система обработки с адекватной архитектурой. Степень адекватности архитектуры такой системы может быть оценена с позиций выбранных критериев и уровнем их согласования. Варианты архитектуры системы, соответствующие согласованным решениям, объединяются в подмножество, предоставляющее обоснованные варианты выбора принимаемых решений с оценками эффективности. Учитывая растущий интерес заказчиков к построению вычислительных систем на основе облачных технологий, обоснование и выбор архитектуры системы обработки данных с использованием услуг облачных вычислений приобретает особую актуальность. Подготовка подобных систем к применению может занимать несколько минут. Поэтому для улучшения качества обоснования предварительного выбора архитектуры системы обработки данных предлагается использовать процедуры аппарата нечеткой логики. Для иллюстрации подхода предлагается пример численных расчетов и анализ полученных результатов.

Ключевые слова: архитектура, компьютерная система, обработка данных, критерии, нечеткая логика, алгоритм.

S. V. SHEVCHENKO, V. O. GUZHVA, V. D. MALYSH, I. Y. MORKVA

SUBSTANTIATION OF THE PRELIMINARY SELECTION OF ARCHITECTURE OF DATA PROCESSING SYSTEM USING FUZZY LOGIC

The purpose of the work is to formulate an approach to the preliminary justification for choosing the type of architecture of the data processing and control system. System architecture is a way of constructing and organizing its functioning in the execution of data processing and control programs. The quality of the architecture can be viewed from the standpoint of accepted efficiency criteria such as, for example, productivity, volume of resources, cost of processing and others. Initial data for making decisions on the choice of the best architecture are the characteristics of these problems, processing algorithms, characteristics of acceptable types of architecture of computing devices, conditions and requirements for the organization of computing processes and control processes, processing procedures, their characteristics and parameters, features of the software environment, development tools and modification of software solutions. The uncertainty caused by the future aspects of the data processing system's functioning and conditions of use, as well as constantly changing external and internal factors, necessitates the use of approaches to design the data processing architecture from the standpoint of reducing the risk of making unreasonable decisions. Therefore, there is a need for data processing as part of a workload that changes over time, manifesting itself in the totality of data processing tasks and their input, and in the necessary processing procedures. These conditions form a data processing environment for which a processing system with an adequate architecture can be used. The degree of adequacy of the architecture of such a system can be estimated from the standpoint of the selected criteria and the degree of their agreement. The system architecture options that match the agreed solutions are a subset that provides sound decision choices that can be made with efficiency evaluations. Given the growing interest of customers in the development of cloud-based computing systems, the justification and choice of data processing system architecture using cloud-computing services is of particular relevance. It may take a few minutes to prepare such systems for application. Therefore, to improve the quality of justification for the previous choice of architecture of the data processing system, it is proposed to use the procedures of the fuzzy logic. An example of numerical calculations and an analysis of the results obtained are offered to illustrate the approach.

Keywords: architecture, computer system, data processing, criteria, fuzzy logic, algorithm.

Вступ. Визначення архітектури комп'ютерної системи обробки даних для виконання процесів обробки даних, а також процесів управління їх виконанням в обраних умовах з позицій ряду критеріїв ефективності, має постійне актуальне значення, враховуючи впровадження нових автоматизованих технологічних процесів, розробку та використання нових зразків комп'ютерної техніки та обладнання, нових інформаційних технологій, появу та широке розповсюдження застосування хмарних обчислень з використанням віртуальних обчислювальних систем [1]–[4].

Відповідність вимогам до архітектури таких систем є визначальним чинником, який обумовлений зростанням складності нових технологічних процесів і задач управління ними, розробкою нових програмних рішень, що реалізують процедури обробки даних та управління. Ступінь відповідності можна оцінити за допомогою обраного набору критеріїв.

Таким чином, виникає необхідність розглянути

формалізацію процедури вибору архітектурних рішень для побудови системи обробки даних серед визначених варіантів.

На етапі проектування комп'ютерної системи слід зазначити наявність невизначеності особливостей її майбутнього використання та ряду вимог до її організації, які не дозволяють чітко визначити перевагу однієї архітектури перед іншою [5]. Внаслідок цього можна вважати за доцільне виконувати оцінку відповідності архітектури комп'ютерної системи, що використовується в певних умовах, з позицій теорії нечіткої логіки [6]. Для виконання розрахунків та проведення аналізу отриманих результатів необхідним є відповідна розробка прикладного програмного забезпечення.

Актуальність вирішення зазначених задач значно підвищується при оцінці пропозицій віртуальних засобів комп'ютерної обробки даних, що пропонуються сервісами хмарних технологій різних провайдерів та рівнів [3].

Типовий набір характеристик якості архітектури хмарної комп'ютерної системи містить види процесорів, що пропонуються для використання у складі віртуальної обчислювальної системи, їх кількість, тактову частоту, обсяги пристроїв оперативної пам'яті, кеш-пам'яті, зовнішньої пам'яті, їх пропускну спроможність та час доступу, канали зв'язку, їх характеристики, надійність, вартість окремих компонентів, пристроїв та системи в цілому, умови використання і т. п. [4].

Для оцінки конкретних варіантів архітектури необхідно уточнювати і адаптувати набір характеристик до обчислювального навантаження, яке очікується при застосуванні системи в певних умовах.

Як правило, критерії якості архітектури комп'ютерної системи визначаються вимогами технічного завдання та функціональним призначенням конкретних систем. Їх характеристики потрібно уточнювати в процесі проектування, що може призвести до необхідності повторного проведення оцінок доступних варіантів.

Постановка задачі. Ринкові умови в економіці накладають додаткові вимоги до потрібного рівня конкурентоздатності суб'єкта ринкових відносин. Це відображається у необхідності підтримки ефективності управління на всіх етапах його діяльності і, перш за все, при формуванні управлінських рішень в результаті вирішення задач обробки даних. Тому виконання процесів обробки даних комп'ютерною системою з архітектурою, що відповідає умовам застосування та робочому навантаженню системи, є однією з необхідних умов забезпечення необхідного рівня ефективності обробки та конкурентоздатності суб'єкта ринкових відносин.

Однією з відмінних особливостей прийняття рішень при виборі архітектури комп'ютерної системи для обробки даних в певних умовах є характеристики робочого навантаження, що визначаються сукупністю задач, які надходять в систему на обробку в певний період часу. Так, визначення архітектури може виконуватися для робочого навантаження, що сформоване одноразовим набором задач, або задачами деякого класу, або потоком незалежних задач, або задач, для яких характерним є повторюваність відповідних процедур вирішення та управління, наявність взаємозв'язків окремих етапів вирішення, що вимагає координації і синхронізації розрахунків. Тому від якості процесів вирішення та достовірності отриманих результатів істотно залежить ефективність процесів обробки даних та управління і ефективність використання комп'ютерної системи обробки даних відповідного рівня в цілому.

Складність вибору архітектури комп'ютерної системи обумовлена наявністю та дією ряду невизначених чинників з необхідністю обліку багатьох факторів, що безпосередньо впливають на ефективність обробки даних. Серед них – склад задач та обсяги обробки, складність алгоритмів обробки і управління та побудови відповідних програмних модулів, частота обробки або випадковість ініціювання процедур обробки, поява задач розподіленої обробки,

їх ініціювання, синхронізація та координація, стан макроекономічних факторів, що впливають на умови та необхідність вирішення відповідних наборів задач, прогнозування тенденцій та виникнення зазначених умов та ін.

Для вирішення задачі обґрунтування вибору архітектури комп'ютерної обчислювальної системи при відомих параметрах процесів обробки даних можуть бути використані традиційні процедури, що відповідають задачам розподілу навантаження виконання обробки даних згідно наявним ресурсам системи з оцінкою значень критеріїв якості для різних варіантів.

Врахування можливості появи в системі обробки даних задач з невизначеними заздалегідь умовами вирішення та характеристиками що заздалегідь невідомі, вимагає застосовувати апарат теорії ймовірності, та математичної статистики, проводити оцінку середніх значень, ідентифікацію законів розподілу випадкових величин та визначення їх характеристик, що може бути реалізовано лише при наявності достатніх статистичних даних та обчислювальних ресурсів. Ця ситуація може змінити склад та рейтинг критеріїв ефективності варіантів вибору і безумовно призвести до втрат, обумовлених, з одного боку, або вартістю невикористаних надмірних обчислювальних ресурсів для вирішення поточних задач обробки даних, або, навпаки, збитками внаслідок відмов або затримок у вирішенні відповідних задач з втратою актуальності та адекватності управлінських рішень внаслідок відсутності вказаних ресурсів.

Попереднє обґрунтування доцільних варіантів архітектури системи обробки даних з використанням якісних методів, здатних відобразити невизначеності ринку, потреби клієнтів, недостатність статистичної інформації, нечислові, нечіткі поняття і оцінки може значно скоротити кількість рішень, що мають бути використані у подальшому визначенні значень окремих характеристик та параметрів системи обробки даних. Тому для вирішення даної задачі перевагу мають методи, що ґрунтуються на використанні штучних нейронних мереж, генетичних алгоритмів, нечітко-множинних підходів [5]. Доцільність застосування апарату теорії нечітких множин визначається тим, що ефективність впровадження і використання інформаційних систем в значній мірі визначається експертними оцінками. Нечітке моделювання подання значень оцінок експертів дозволяє приблизити результати до реальних процедур і, у подальшому, отримати чисельну інтерпретацію нечітких, лінгвістичних понять і оцінок для їх обробки і прийняття необхідних управлінських рішень [6]–[10].

Таким чином, виникає необхідність запропонувати підхід та процедури оперативного вибору архітектури комп'ютерної системи обробки даних, що відповідає потребам застосування с позицій ряду критеріїв ефективності, склад, рейтинг і значення яких може змінюватися в умовах динамічних змін робочого навантаження системи обробки даних та доступних пропозицій обчислювальних ресурсів особливо в умовах хмарних обчислень.

Багатокритеріальний аналіз альтернатив.

Будемо вважати, що відома множина варіантів архітектури побудови системи обробки даних $P = \{P_i, i \in I\}$, $I = \{1, 2, \dots, m\}$, множина обраних критеріїв якості архітектури $G = \{G_j, j \in J\}$, $J = \{1, 2, \dots, n\}$.

Багатокритеріальний аналіз альтернатив базується в упорядкуванні елементів множини P за критеріями множини G [7].

Для оцінки якості варіанту архітектури можуть бути використані критерії, які найбільш точно відображують з позицій експертів особливості використання системи обробки даних і управління в реальних умовах. У якості прикладу наведемо наступні критерії якості: G_1 – частота ініціалізації процедур обробки даних; G_2 – витрати ресурсів на ініціалізацію; G_3 – трудомісткість внесення змін до процедур обробки даних; G_4 – врахування рівня важливості виконання процедур; G_5 – підтримка процедур обробки даних даною архітектурою; G_6 – врахування впливу ступеню зв'язку між процедурами обробки даних.

Множина обраних критеріїв є відкритою з можливістю внесення змін та урахуванням вимог до конкретної архітектури системи. Крім того, кожний критерій може розглядатися як згортка окремих показників на більше низькому рівні ієрархії.

Для побудови моделі прийняття рішень будемо використати метод нечіткого багатокритеріального аналізу варіантів, що дозволяє врахувати описані вище особливості архітектури автоматизованого комплексу обробки даних [8].

Позначимо $\mu_{G_i}(P_j)$ число з інтервалу $[0, 1]$, яким варіант архітектури системи обробки даних P_j оцінюють за критерієм якості G_i , $i \in I$, $j \in J$. Чим більше число $\mu_{G_i}(P_j)$, тим краще система з архітектурою P_j за критерієм G_i . Тоді на підставі оцінок варіантів архітектури системи за кожним критерієм G_i , $i \in I$ можна сформувати нечіткі множини G_i^{\sim} на універсальній множині P :

$$G_i^{\sim} = \{P_j: \mu_{G_i}(P_j), j \in J\}, i \in I \quad (1)$$

де значення $\mu_{G_i}(P_j)$ можна інтерпретувати як ступінь приналежності елемента P_j , $j \in J$, нечіткій множині G_i^{\sim} , $i \in I$.

Ступені приналежності до нечітких множин (1) будемо знаходити, використовуючи побудову функцій приналежності на основі парних порівнянь Сааті [9]. Експерт для кожної пари варіантів архітектури по критеріям множини G оцінює перевагу одного варіанта перед іншим. Парні порівняння задаються у вигляді матриці $A_{G_j} = \{\alpha_{li}^{G_j}\}$, елементи якої $\alpha_{li}^{G_j}$ – це оцінка переваги архітектури комп'ютерної системи P_l , $l \in I$, перед архітектурою P_i , $i \in I$, згідно критерію G_j , $j \in J$, з використанням шкали Сааті [8].

Після визначення всіх елементів матриці A_{G_j} , $j \in J$, ступені приналежності, необхідні для формування нечіткої множини (1), можуть бути визначені наступним чином [7]:

$$\mu_{G_j}(P_i) = \frac{1}{\alpha_{1i}^{G_j} + \alpha_{2i}^{G_j} + \dots + \alpha_{mi}^{G_j}} \quad (2)$$

Відповідно до принципу Беллмана – Заде [7], кращою буде альтернатива, яка найбільшою мірою одночасно задовольняє всім критеріям. Тому нечітка множина, яка визначається у вигляді перетину нечітких множин за окремими критеріями, може бути використана у якості сукупності доцільних варіантів архітектури комп'ютерної системи обробки даних та управління з інтегральними оцінками ефективності

$$D^{\sim} = G_1^{\sim} \cap G_2^{\sim} \cap \dots \cap G_n^{\sim}. \quad (3)$$

Тоді, згідно змісту операції перетину нечітких множин, маємо

$$D^{\sim} = \{P_i: \operatorname{argmin}(\mu_{G_j^{\sim}}(P_i)), i \in I\} \quad (4)$$

Якщо в результаті цих дій вагомі переваги елементів за обраними показниками не спостерігаються, то використовуються оцінки коефіцієнтів важливості критеріїв $\{y_j\}$, $j \in J$. Для їх визначення застосовуються процедури, аналогічні наведеним при формуванні функцій, що визначають ступінь приналежності.

Підхід до визначення пріоритетів рішень з урахуванням коефіцієнтів важливості критеріїв повинен забезпечувати збільшення різниці між варіантами по більш важливим критеріям і відповідно зменшення різниці по менш важливим. Для цього застосовуються операції концентрації і розтягування нечітких множин шляхом зведення значення функції приналежності в позитивну ступінь більше 1 при концентрації елементів і в ступінь менше 1 при розтягуванні елементів за значеннями показників. В такому разі можемо отримати наступний результат:

$$D^* = G_1^{\sim y_1} \cap G_2^{\sim y_2} \cap \dots \cap G_n^{\sim y_n} = \{P_i^*: \operatorname{argmin}(\mu_{G_j^{\sim}}^{y_j}(P_i)), i \in I\}, \quad (5)$$

де $\{y_j\}$, $j \in J$, коефіцієнти відносної важливості критеріїв множини G після операції нормалізації їх значень

$$y_1 + y_2 + \dots + y_n. \quad (6)$$

Тоді, відповідно до результатів обчислень згідно виразу (5), кращою буде система з архітектурою

$$P^* = \operatorname{argmax}(\mu_{D^*}(P_i), i \in I). \quad (7)$$

Приклад розрахунків. У якості прикладу розрахунків за наведеним підходом розглянемо множину можливих варіантів архітектури $P = \{P_1, P_2, \dots, P_4\}$ з позицій вище наведених критеріїв ефективності $G = \{G_1, G_2, \dots, G_6\}$.

Нехай оцінки експертів по зіставленню варіантів архітектури за кожним критерієм представлені матрицями у наступному вигляді

$$A_{G_1} = \begin{Bmatrix} 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{Bmatrix}, A_{G_4} = \begin{Bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1/2 & 1 \\ 5 & 2 & 1 & 3 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1 \end{Bmatrix},$$

$$A_{G_2} = \begin{Bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 2 & 3 \\ 1/5 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/7 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{Bmatrix}, A_{G_5} = \begin{Bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1 & 1/2 \\ 5 & 3 & 2 & 1 \end{Bmatrix}, (8)$$

$$A_{G_3} = \begin{Bmatrix} 1 & 5 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 3 \\ 1 & 5 & 1 & 7 \\ 1/7 & 1/3 & 1/7 & 1 \end{Bmatrix}, A_{G_6} = \begin{Bmatrix} 1 & 1/7 & 1/3 & 1/7 \\ 7 & 1 & 3 & 1 \\ 3 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 7 & 1 & 3 & 1 \end{Bmatrix}.$$

Застосовуючи процедури (1) та (2), отримаємо наступні нечіткі множини

$$\begin{aligned} G_1^{\sim} &= \{P_1: 0.39, P_2: 0.39, P_3: 0.14, P_4: 0.07\}, \\ G_2^{\sim} &= \{P_1: 0.60, P_2: 0.21, P_3: 0.12, P_4: 0.08\}, \\ G_3^{\sim} &= \{P_1: 0.43, P_2: 0.09, P_3: 0.43, P_4: 0.06\}, \\ G_4^{\sim} &= \{P_1: 0.08, P_2: 0.23, P_3: 0.49, P_4: 0.19\}, \\ G_5^{\sim} &= \{P_1: 0.08, P_2: 0.19, P_3: 0.23, P_4: 0.49\}, \\ G_6^{\sim} &= \{P_1: 0.06, P_2: 0.40, P_3: 0.14, P_4: 0.40\}. \end{aligned} \quad (9)$$

Склад отриманих множин не дозволяє віддати перевагу окремим варіантам архітектури.

Нехай експертне порівняння критеріїв має вигляд

$$A = \begin{Bmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 & 4 & 1 & 3 \\ 3 & 1 & 2 & 6 & 3 & 5 \\ 2 & 1/2 & 1 & 5 & 2 & 3 \\ 1/4 & 1/6 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 1 & 1/3 & 1/2 & 3 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/5 & 1/3 & 2 & 1/2 & 1 \end{Bmatrix}$$

Тоді, виконуючи вищезазначені дії, отримаємо наступні коефіцієнти важливості критеріїв

$$\gamma_1 = 0.15, \gamma_2 = 0.34, \gamma_3 = 0.26,$$

$$\gamma_4 = 0.05, \gamma_5 = 0.13, \gamma_6 = 0.07.$$

Таким чином, експерти вважають найбільш важливими критеріями витрати ресурсів на ініціалізацію G_2 і трудомісткість внесення змін до процедур обробки даних G_3 .

З урахуванням важливості критеріїв, відповідно до (4), отримуємо такі нечіткі множини

$$G_1^{\sim Y_1} = \{P_1: 0.885, P_2: 0.885, P_3: 0.769, P_4: 0.706\};$$

$$G_2^{\sim Y_2} = \{P_1: 0.816, P_2: 0.537, P_3: 0.430, P_4: 0.363\};$$

$$G_3^{\sim Y_3} = \{P_1: 0.829, P_2: 0.585, P_3: 0.829, P_4: 0.529\};$$

$$G_4^{\sim Y_4} = \{P_1: 0.888, P_2: 0.933, P_3: 0.967, P_4: 0.923\};$$

$$G_5^{\sim Y_5} = \{P_1: 0.728, P_2: 0.808, P_3: 0.829, P_4: 0.913\};$$

$$G_6^{\sim Y_6} = \{P_1: 0.819, P_2: 0.939, P_3: 0.872, P_4: 0.939\}.$$

Результати проведеного аналізу та порівнянь представлені графіком, зображеним на рис. 1.

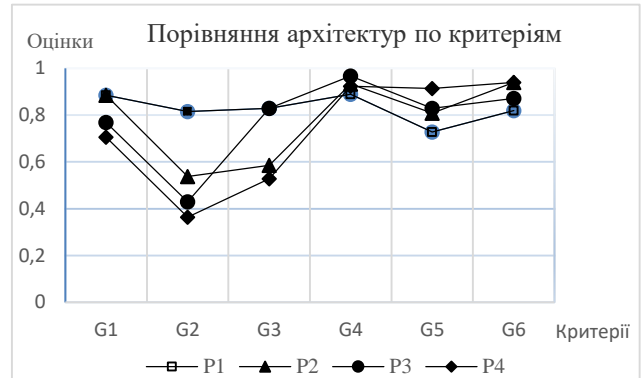


Рис. 1. Оцінки варіантів архітектури системи з урахуванням важливості критеріїв

Операція перетину отриманих нечітких множин $D^* = G_1^{\sim Y_1} \cap G_2^{\sim Y_2} \cap \dots \cap G_6^{\sim Y_6}$ приводить до наступного результату

$$D^* = \{P_1: 0.728, P_2: 0.537, P_3: 0.430, P_4: 0.363\}.$$

Таким чином, отримані результати дозволяють оцінити різниці по рейтингу варіантів архітектури і свідчать про перевагу системи обробки даних з архітектурою P_1 при дотриманні прийнятих умов аналізу.

Крім того, з'являється можливість провести дослідження зміни рейтингів варіантів, що порівнюються, при зміні окремих оцінок порівнянь по критеріям, при яких визначається перевага одного з варіантів.

Для демонстрації цих дій наведемо результати аналізу змін архітектури P_3 по критерію G_2 витрати ресурсів на ініціалізацію та їх вплив на інтегральну оцінку ефективності варіанту архітектури, рис. 2.

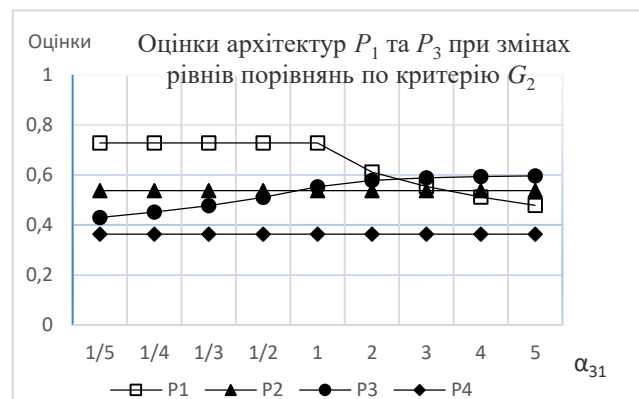


Рис. 2. Оцінки ефективності варіантів архітектури системи з урахуванням змін архітектури P_3 по критерію G_2

Легко бачити, що, якщо при порівнянні архітектури P_1 та P_3 перевага останньої по критерію G_2 буде більше, ніж 2.5, то архітектура P_3 системи обробки даних стає більш доцільною.

Висновки. Порівняння варіантів архітектури для автоматизованого комплексу системи обробки даних і управління показує, що застосування запропонованого підходу дозволяє отримати кількісні оцінки якості рішень, провести необхідні дослідження впливу окремих факторів та значень показників, що використовувалися для проведення розрахунків, врахувати особливості призначення і використання системи, склад та зміст задач обробки даних і управління, важливість їх своєчасного вирішення та можливість внесення змін, вплив обраної сукупності критеріїв якості, оцінок експертів та їх співвідношень на кінцевий результат та ін. В результаті використання розглянутих процедур з позицій зроблених припущень з'являється можливість отримати кількісне обґрунтування доцільності використання обраної архітектури комп'ютерної системи обробки даних і управління та виконати дослідження впливу окремих факторів на кінцевий результат.

Отримані результати можна вважати попередніми оцінками варіантів архітектури системи обробки даних, які дозволяють скоротити кількість варіантів, що розглядаються і які мають бути уточнені при деталізації характеристик і параметрів системи обробки даних для використання в конкретних умовах.

Список літератури

1. Amazon EC2. URL: <https://aws.amazon.com/ru/ec2> (дата звернення: 15.04.2019).
2. Welcome to IBM Cloud. URL: <https://cloud.ibm.com> (дата звернення: 17.09.2019).
3. Google Cloud. URL: <https://cloud.google.com> (дата звернення: 17.09.2019).
4. Cloud Computing and Cloud Storage Architectures. URL: <https://www.seagate.com/gb/en/tech-insights/cloud-compute-and-cloud-storage-architecture-master-ti/> (дата звернення: 17.09.2019).
5. Подорожний И. В., Светличный А. Н., Подлеснов А. В. Введение в контейнеры, виртуальные машины и docker // *Молодой ученый*. 2016. № 19. С. 49–53. URL: <https://moluch.ru/archive/123/33873/> (дата звернення: 16.04.2019).
6. Соловьев А. М. Особенности распределенных АСУ ТП. *Информационные системы и технологии*. 2016. Т. 97, № 5. С. 50–56.
7. Андриевская Н. В., Резников А. С., Черанев А. А. Особенности применения нейро-нечетких моделей для задач синтеза систем автоматического управления. *Фундаментальные исследования*. 2014. Ч. 7, №. 11. С. 1445–1449.
8. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. Москва: Физматлит, 2004. 546 с.
9. Подиновский В. В., Ногин В. Д. *Парето-оптимальные решения многокритериальных задач*. Москва: Наука, 1982. 464 с.
10. Саати Т. *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. Москва: Радио и связь, 1993. 454 с.
11. Forman E. H., Selly M. A. *Decision By Objectives*. World Scientific Press, 2001. 420 p. URL: <https://doi.org/10.1142/4281> (дата звернення: 17.09.2019).
12. Овезгельдыев А. О., Петров Э. Г., Петров К. Э. *Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации*. Київ: Наук. думка, 2002. 164 с.

References (transliterated)

1. Amazon EC2. URL: <https://aws.amazon.com/ru/ec2> (accessed: 15.04.2019).
2. Welcome to IBM Cloud. URL: <https://cloud.ibm.com> (accessed: 17.09.2019).
3. Google Cloud. URL: <https://cloud.google.com> (accessed: 17.09.2019).
4. Cloud Computing and Cloud Storage Architectures. URL: <https://www.seagate.com/gb/en/tech-insights/cloud-compute-and-cloud-storage-architecture-master-ti/> (accessed: 17.09.2019).
5. Podorozhnyy I. V., Svetlichnyy A. N., Podlesnov A. V. Vvedeniye v konteynery, virtual'nyye mashiny i docker [Introduction to containers, virtual machines and docker]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2016, no. 19, pp. 49–53. URL: <https://moluch.ru/archive/123/33873/> (accessed 16.04.2019).
6. Solov'yev A. M. Osobennosti raspredelennykh ASU TP [Features of distributed process control systems]. *Informatsionnyye sistemy i tekhnologii* [Information Systems and Technologies]. 2016, vol. 97, no. 5, pp. 50–56.
7. Andriyevskaya N. V., Reznikov A. S., Cheranov A. A. Osobennosti primeneniya neyro-nechetkikh modeley dlya zadach sinteza sistem avtomaticheskogo upravleniya [Features of the application of neuro-fuzzy models for the synthesis of automatic control systems]. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Basic research]. 2014, part 7, no. 11, pp. 1445–1449.
8. Nogin V. D. *Prinyatiye resheniy v mnogokriterial'noy srede: kolichestvennyy podkhod* [Decision making in a multi-criteria environment: a quantitative approach]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2004. 546 p.
9. Podinovskiy V. V., Nogin V. D. *Pareto-optimal'nyye resheniya mnogokriterial'nykh zadach* [Pareto-optimal solutions of multicriteria problems]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 464 p.
10. Saati T. *Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy* [Decision Making. Hierarchy Analysis Method]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1993. 454 p.
11. Forman E. H., Selly M. A. *Decision By Objectives*. World Scientific Press, 2001. 420 p. URL: <https://doi.org/10.1142/4281> (accessed: 17.09.2019).
12. Ovezgel'dyyev A. O., Petrov E. G., Petrov K. E. *Sintez i identifikatsiya modeley mnogofaktornogo otsenivaniya i optimizatsii* [Synthesis and identification of multivariate estimation and optimization models]. Kiev, Nauk. Dumka Publ., 2002. 164 p.

Надійшла (received) 22.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шевченко Сергій Васильович – кандидат технічних наук, професор НТУ «ХПІ», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-64-74; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3831-5425>; e-mail: sv-shevchenko@ukr.net

Гузєва Віктор Олексійович – кандидат технічних наук, професор НТУ «ХПІ», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-64-74; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6832-4480>; e-mail: guzhva.v.a@gmail.com

Малиш Валерія Дмитрівна – бакалавр, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», бакалавр кафедри «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; тел.: (057) 707-64-74; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9335-1285>; e-mail: malysh.valeriya@gmail.com

Морква Іван Юрійович – студент магістратури, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», бакалавр кафедри «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; тел.: (057) 707-64-74; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6508-7894>; e-mail: ivan.morkva@gmail.com

Шевченко Сергей Васильевич – кандидат технических наук, профессор НТУ «ХПИ», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; тел.: (057) 707-64-74; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3831-5425>; e-mail: sv-shevchenko@ukr.net

Гужва Виктор Алексеевич – кандидат технических наук, профессор НТУ «ХПИ», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; тел.: (057) 707-64-74; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6832-4480>; e-mail: guzhva.v.a@gmail.com.

Малыш Валерия Дмитриевна – бакалавр, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», бакалавр кафедры "Программная инженерия и информационные технологии управления"; тел.: (057) 707-64-74; м. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9335-1285>; e-mail: malysh.valeriya@gmail.com

Морква Иван Юрьевич – студент магистратуры, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», бакалавр кафедры "Программная инженерия и информационные технологии управления"; тел.: (057) 707-64-74; м. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6508-7894>; e-mail: ivan.morkva@gmail.com

Shevchenko Sergiy – Candidate of Technical Science, Professor at NTU “KhPI”, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Professor, Department of Software Engineering and Information Technologies of Management; tel.: (057) 707-64-74; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3831-5425>; e-mail: sv-shevchenko@ukr.net

Viktor Guzhva – Candidate of Technical Sciences, Professor at NTU "KhPI", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Software Engineering and Information Technology Management; tel.: (057) 707-64-74; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6832-4480>; e-mail: guzhva.v.a@gmail.com

Malysh Valeriy Dmitrovna – Bachelor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Bachelor of the Department of Software Engineering and Information Technologies of Management; tel.: (057) 707-64-74; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9335-1285>; e-mail: malysh.valeriya@gmail.com

Ivan Morkva – Master’s student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", bachelor of department "Software Engineering and Information Technologies of Management"; tel.: (057) 707-64-74; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6508-7894>; e-mail: ivan.morkva@gmail.com